

Национальная Академия Наук Украины
Институт Биологии Южных морей

Ю. В. Брянцева, А. М. Лях, А. В. Сергеева

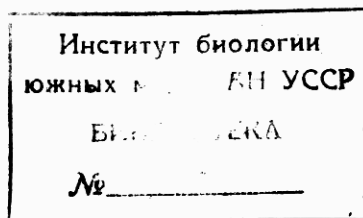
РАСЧЕТ ОБЪЕМОВ И ПЛОЩАДЕЙ
ПОВЕРХНОСТИ ОДНОКЛЕТОЧНЫХ
ВОДОРΟΣЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЕЯ

Севастополь 2005

Национальная Академия Наук Украины
Институт Биологии Южных морей

Ю. В. Брянцева, А. М. Лях, А. В. Сергеева

РАСЧЕТ ОБЪЕМОВ И ПЛОЩАДЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ОДНОКЛЕТОЧНЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ЧЕРНОГО МОРЕЯ



Севастополь 2005

Ю. В. Брянцева, А. М. Лях, А. В. Сергеева. Расчет объемов и площадей поверхности одноклеточных водорослей Черного моря. — Севастополь, 2005. — 25 с. (Препр. / НАН Украины. Институт Биологии Южных морей).

В пособии представлены изображения 37 геометрических фигур, используемых для вычисления биомассы и площади поверхности одноклеточных водорослей методом «истинного объема». Приводятся соответствующие расчетные формулы. Впервые указаны подобные геометрические фигуры и поправочные коэффициенты — соотношения между видимыми и невидимыми параметрами клеток, — для 250 видов черноморского фитопланктона. Пособие предназначено для гидробиологов, экологов, океанологов. Библиогр.: 26 назв.

Рекомендовано к печати
Ученым советом Института Биологии Южных морей им. А.О. Ковалевского
Национальной Академии Наук Украины.
Протокол №2 от 01.03.2005

Ответственный за выпуск: к. б. н. Р. П. Тренкеншу
Рецензент: к. б. н. С. А. Ковардаков

- © Институт Биологии Южных морей НАН Украины, 2005
- © Ю. В. Брянцева, А. М. Лях, А. В. Сергеева, 2005
- © Список видов и подобных фигур Ю. В. Брянцева, 2005
- © Иллюстрации и оформление А. М. Лях, 2005

Часть работы выполнена при поддержке гранта INTAS 03-51-6196
Пособие сверстано в системе L^AT_EX

Содержание

Введение	4
Методика определения объемов и площадей поверхности	5
Простые геометрические фигуры	5
Шар и его части	5
Многогранники	6
Цилиндр	6
Конус	7
Эллипсоид, сфероид и параболоид	8
Остальные фигуры	9
Комбинации геометрических фигур	10
Клетки <i>Ceratium tripos</i> и им подобные	14
Форма тела клетки	14
Форма выростов	15
Пример имитации формы клеток	15
Таблица видов	16
Заключение	23
Литература	24

Введение

При описании состояния сообщества микроводорослей используются такие показатели, как численность, биомасса и площадь поверхности клеток. Среди методов определения биомассы фитопланктона [6] самым распространенным и наиболее точным является *геометрический* или *метод истинного объема*, предложенный И. А. Киселевым [4] в 1956 году. Суть метода заключается в том, что клетку фитопланктона приравнивают к близкой ей по форме геометрической фигуре или их комбинации, а затем рассчитывают ее объем по известным формулам стереометрии. Сырую биомассу микроводоросли вычисляют по формуле:

$$W_{\text{кл}} = V_{\text{кл}} \cdot \rho,$$

где $W_{\text{кл}}$ — значение сырой биомассы (мг); $V_{\text{кл}}$ — объем клетки (мкм³); ρ — удельный вес клетки (мг · мкм⁻³), который можно считать равным единице [11]. Площадь поверхности клетки рассчитывается как площадь поверхности подобной ей фигуры.

Усложнение комбинаций геометрических фигур, описывающих форму микроводорослей, приводило к громоздким вычислениям, поэтому исследователи старались оперировать простыми геометрическими телами [9]. Для упрощения вычислений и сокращения количества промеров при обработке проб фитопланктона предлагались *коэффициенты объемной полноты* [14–16, 26] и *регрессионные уравнения* [17]. Их применение для расчета площади поверхности приводит к большим погрешностям, поэтому в данной работе они не используются.

Развитие компьютерной техники позволило идти по пути более точной аппроксимации форм клеток. Для описания клеток сложной формы стали использовать различные комбинации и специальные геометрические фигуры, такие как *монорафидиоид* (*monoraphidioid*), *цимбеллоид* (*cymbeloid*) и *гомфонемоид* (*gomphonemoid*) [18, 25]. Названия фигурам даны по названиям соответствующих им родов микроводорослей: *Monoraphidium*, *Cymbella* и *Gomphonema*.

Часто авторы в своих работах ограничиваются указанием фигур для родов микроводорослей, уделяя незначительное внимание их видовой морфологической изменчивости [10, 22, 25]. Этот подход не всегда верен, поскольку формы клеток фитопланктона могут сильно различаться не только в пределах одного рода, но и в пределах одного и того же вида [19]. Поэтому в каждом таком случае необходимо выбирать конкретную фигуру, соответствующую форме исследуемой клетки.

В данном пособии впервые приводится список одноклеточных водорослей Черного моря, включающий 250 видов, с указанием формул для расчета их объема и площади поверхности. Ранее опубликованные работы содержат формулы для вычислений объемов планктонных водорослей и инфузорий Черного моря, а также списки видов черноморских инфузорий [2] и антарктического фитопланктона [1] с указанием подобных им фигур.

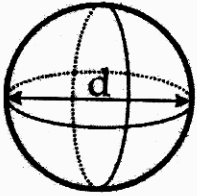
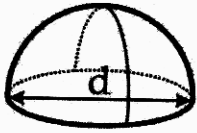
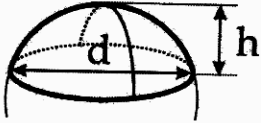
Методика определения объемов и площадей поверхности

При рассмотрении клетки в микроскоп всегда доступны для измерения два ее параметра. Несмотря на это для вычисления ее объема и площади поверхности часто требуется знать и ее третью ось, что не всегда возможно. При этом, у каждого вида микроводорослей соотношение между видимыми и невидимыми параметрами клетки представляет собой достаточно постоянную величину. Используя *поправочный коэффициент*, можно найти длину невидимой стороны (см. далее).

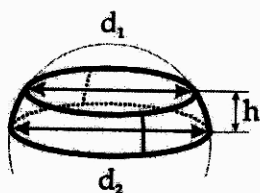
Ниже приводятся рисунки геометрических фигур, которые исследователь должен сопоставить с формой исследуемой микроводоросли. Объем и площадь поверхности клетки вычисляются по предлагаемым формулам. В тексте используются следующие обозначения:

- $A_{\text{осн}}$ — площадь оснований фигуры;
 $A_{\text{бок}}$ — площадь боковой поверхности фигуры;
 V — объем фигуры (мкм^3);
 A — полная площадь поверхности фигуры (мкм^2).

Простые геометрические фигуры

КОД	ИЛЛЮСТРАЦИЯ	ФОРМУЛЫ
ш.		Шар $V = \frac{\pi}{6} \cdot d^3$ $A = \pi \cdot d^2$
0.5 ш.		Полшара $A_{\text{осн}} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$ $A_{\text{бок}} = \frac{\pi}{2} \cdot d^2$ $V = \frac{\pi}{12} \cdot d^3$ $A = \frac{3\pi}{4} \cdot d^2$
ш. сег.		Шаровой сегмент $h < 0.5 d$ $R = \frac{d^2 + 4h^2}{8h}, \text{ — радиус шара}$ $A_{\text{осн}} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$ $A_{\text{бок}} = \pi \cdot \left(\frac{d^2}{4} + h^2 \right)$ $V = \frac{\pi}{24} \cdot h \cdot (4h^2 + 3d^2)$ $A = \frac{\pi}{2} \cdot (d^2 + 2h^2)$

Ш.СЛ.

**Шаровой слой** $d_1 < d_2 \leq D$ $D = 2R$ – диаметр и радиус шара.

$$R = \sqrt{d_2^2 + \left(\frac{d_2^2 - d_1^2 - h^2}{8h}\right)}$$

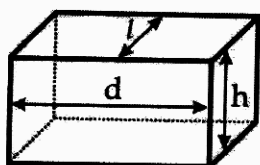
$$A_{\text{осн}} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 + d_2^2)$$

$$A_{\text{бок}} = 2\pi \cdot R \cdot h$$

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot h \cdot \left[\frac{3}{4} \cdot (d_1^2 + d_2^2) + h^2 \right]$$

$$A = A_{\text{осн}} + A_{\text{бок}}$$

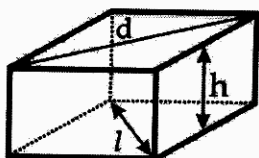
П.П.

**Параллелепипед прямой** d – большая видимая, h – меньшая видимая, l – невидимая стороны.

$$V = d \cdot h \cdot l$$

$$A = 2 \cdot (d \cdot h + h \cdot l + l \cdot d)$$

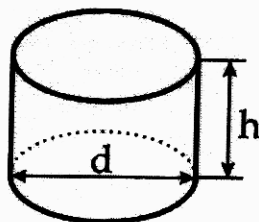
П.Р.

**Параллелепипед с ромбом в основании** d – большая диагональ параллелограмма; h – невидимая сторона.

$$V = \frac{1}{2} \cdot d \cdot h \cdot l$$

$$A = d \cdot l + 2h \cdot \frac{\sqrt{d^2 - l^2}}{4}$$

К.Ц.

**Круглый цилиндр**

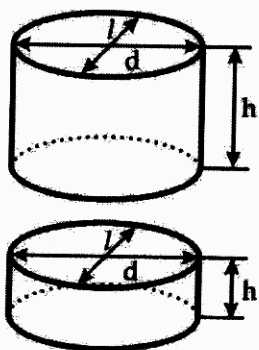
$$A_{\text{осн}} = 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

$$A_{\text{бок}} = \pi \cdot d \cdot h$$

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h$$

$$A = \pi \cdot d \cdot \left(h + \frac{d}{2} \right)$$

ЭЛ.Ц.

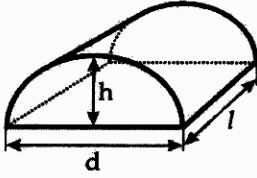
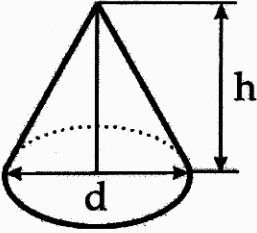
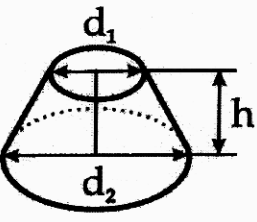
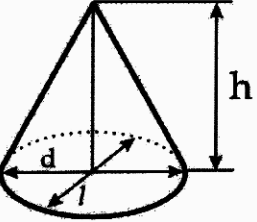
**Эллиптический цилиндр**Основания – эллипсы ($l < d$).

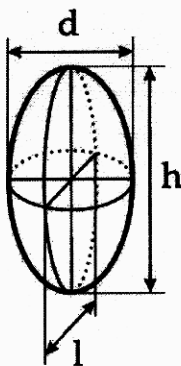
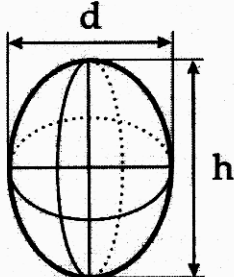
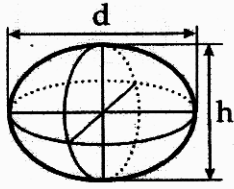
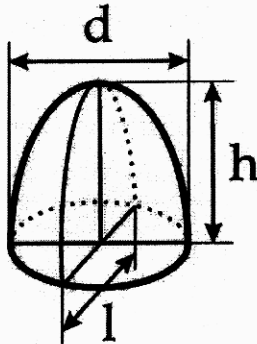
$$A_{\text{осн}} = 2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot l$$

$$A_{\text{бок}} = \frac{\pi}{2} \cdot h \cdot (d + l)$$

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot l \cdot h$$

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot (d \cdot l + l \cdot h + h \cdot d)$$

КОД	ИЛЛЮСТРАЦИЯ	ФОРМУЛЫ
0.5 эл.ц.		Половина эллиптического цилиндра $A_{\text{осн}} = 2 \cdot \left[\frac{\pi}{8} \cdot d \cdot h \right] + [d \cdot l]$ $A_{\text{бок}} = \frac{\pi}{4} \cdot l \cdot (d + h)$ $V = \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot l \cdot h$ $A = \frac{\pi}{4} \cdot (d \cdot l + l \cdot h + h \cdot d) + d \cdot l$
к.к.		Круглый конус $\rho = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{4h^2 + d^2}$ $A_{\text{осн}} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$ $A_{\text{бок}} = \frac{\pi}{2} \cdot d \cdot \rho$ $V = \frac{\pi}{12} \cdot d^2 \cdot h$ $A = \frac{\pi}{2} \cdot d \cdot \left(\rho + \frac{d}{2} \right)$
ус.к.к.		Усеченный круглый конус ($d_2 > d_1$) $\rho = \frac{1}{2} \sqrt{4h^2 + (d_2 - d_1)^2}$ $A_{\text{осн}} = \left[\frac{\pi}{4} \cdot d_1^2 \right] + \left[\frac{\pi}{4} \cdot d_2^2 \right]$ $A_{\text{бок}} = \frac{\pi}{2} \cdot \rho \cdot (d_1 + d_2)$ $V = \frac{\pi}{12} \cdot h \cdot (d_1^2 + d_1 \cdot d_2 + d_2^2)$ $A = \frac{\pi}{2} \cdot \left[\frac{d_1^2 + d_2^2}{2} + \rho \cdot (d_1 + d_2) \right]$
эл.к.		Эллиптический конус ($l < d$) Площадь боковой поверхности эллиптического конуса не выражается в явном виде. $A_{\text{осн}} = \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot l$ $A_{\text{бок}} = d \sqrt{\frac{l^2}{4} + h^2} \cdot E \left(\sqrt{\frac{1 - \frac{l^2}{d^2}}{1 + \frac{l^2}{4h^2}}} \right),$ где $E(x)$ эллиптический интеграл второго рода, который вычисляется численными методами. $V = \frac{\pi}{12} \cdot d \cdot l \cdot h$ $A = A_{\text{осн}} + A_{\text{бок}}$

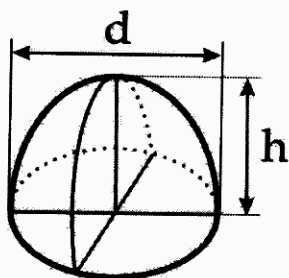
КОД	ИЛЛЮСТРАЦИЯ	ФОРМУЛЫ
эл.		Эллипсоид h – длина наибольшей оси. $\rho = \frac{\sqrt{4h^2 - (d+l)^2}}{2h}$ $V = \frac{\pi}{6} \cdot d \cdot h \cdot l$ $A \approx \frac{\pi}{4} \cdot (d+l) \cdot \left[\frac{d+l}{2} + h \cdot \frac{\arcsin(\rho)}{\rho} \right]$
выт.сф.		Вытянутый сфероид¹ Диаметр сфероида <i>меньше</i> его высоты ($d < h$) $\rho = \frac{\sqrt{h^2 - d^2}}{h}$ $V = \frac{\pi}{6} \cdot d^2 \cdot h$ $A = \frac{\pi}{2} \cdot d \cdot \left(d + h \cdot \frac{\arcsin(\rho)}{\rho} \right)$
сп.сф.		Сплюснутый сфероид Диаметр сфероида <i>больше</i> его высоты ($d > h$) $\rho = \frac{\sqrt{d^2 - h^2}}{d}$ $V = \frac{\pi}{6} \cdot d^2 \cdot h$ $A = \frac{\pi}{2} \cdot \left(d^2 + \frac{h^2}{2\rho} \cdot \ln \left(\frac{1+\rho}{1-\rho} \right) \right)$
0.5 эл.		Половина эллипсоида $\rho = \frac{\sqrt{16h^2 - (d+l)^2}}{4h}$ $A_{\text{осн}} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$ $A_{\text{бок}} \approx \frac{\pi}{8} \cdot (d+l) \cdot \left[\frac{d+l}{2} + 2h \cdot \frac{\arcsin(\rho)}{\rho} \right]$ $V = \frac{\pi}{6} \cdot d \cdot h \cdot l$ $A = A_{\text{осн}} + A_{\text{бок}}$

¹Сфероид — эллипсоид с двумя совпадающими осями. В сечении сфероида горизонтальной плоскостью образуется круг радиуса d

КОД

ИЛЛЮСТРАЦИЯ

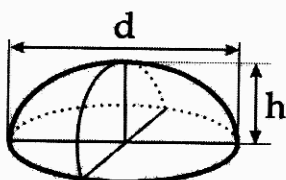
ФОРМУЛЫ

0.5
выт.
сф.Половина вытянутого сфероида ($h > 0.5d$)

$$\rho_{\text{выт}} = \frac{\sqrt{4h^2 - d^2}}{2h}$$

$$A_{\text{осн}} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

$$A_{\text{бок}} = \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot \left(d + 2h \cdot \frac{\arcsin(\rho_{\text{выт}})}{\rho_{\text{выт}}} \right)$$

0.5 сп.
сф.Половина сплюснутого сфероида ($h < 0.5d$)

$$\rho_{\text{спл}} = \frac{\sqrt{d^2 - 4h^2}}{d}$$

$$A_{\text{осн}} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

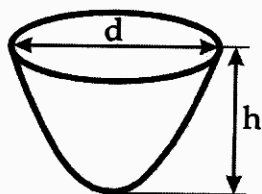
$$A_{\text{бок}} = \frac{\pi}{4} \cdot \left(d^2 + \frac{2h^2}{\rho_{\text{спл}}} \cdot \ln \left(\frac{1 + \rho_{\text{спл}}}{1 - \rho_{\text{спл}}} \right) \right)$$

Объем и площадь половины сфероида

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot d^2 \cdot h$$

$$A = A_{\text{осн}} + A_{\text{бок}}$$

пб.



Параболоид

$$\rho = \frac{d^2}{8h}$$

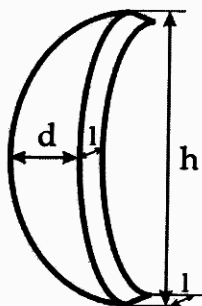
$$A_{\text{осн}} = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

$$A_{\text{бок}} = \frac{2\pi}{3\rho} \sqrt{\left(\frac{d^2}{4} + \rho^2\right)^3} - \rho^3$$

$$V = \frac{\pi}{8} \cdot d^2 \cdot h$$

$$A = A_{\text{осн}} + A_{\text{бок}}$$

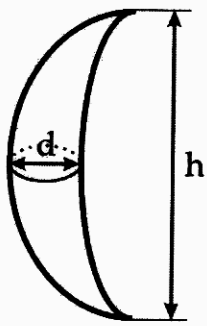
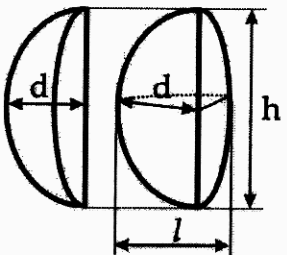
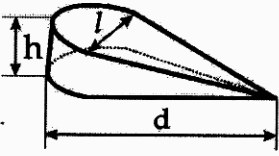
пр.



Призма в виде полумесяца [18]

$$V \approx \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot h \cdot l$$

$$A \approx \frac{\pi}{4} \cdot (d \cdot h + h \cdot l + l \cdot d) + h \cdot l$$

КОД	ИЛЛЮСТРАЦИЯ	ФОРМУЛЫ
Мон.		<i>Monoraphidioid</i>² – полумесяц круглый в сечении $V \approx \frac{\pi}{6} \cdot h \cdot d^2$ $A \approx \frac{\pi}{2} \cdot d \cdot \sqrt{d^2 + h^2}$
Сум.		<i>Cymbeloid</i>³ – «долька лимона» $V = \frac{2}{3} \cdot h \cdot d^2 \cdot \arcsin\left(\frac{l}{2d}\right)$ $A = \frac{\pi}{2} \cdot d \cdot h + l \cdot \left[d + \frac{h^2}{2\sqrt{h^2 - 4d^2}} \cdot \arcsin\left(\frac{\sqrt{h^2 - 4d^2}}{h}\right) \right]$
Гом.		<i>Gomphonemoid</i>⁴ $\rho = \arcsin\left(\frac{h}{2d}\right)$ $V \approx \frac{d \cdot l}{4} \cdot \rho \cdot \left[d + l \cdot \left(\frac{\pi}{4} - 1\right) \right]$ $A \approx \frac{l}{2} \cdot \left[2d + \pi \cdot d \cdot \rho - l \cdot \left(\frac{\pi}{2} - 2\right) \right]$

Комбинации геометрических фигур

Следует иметь в виду, что при соединении двух фигур некоторые части их поверхностей соприкасаются друг с другом, поэтому надо исключать площади этих соприкасающихся частей.

- В случае, когда фигуры соприкасаются своими основаниями, размеры которых совпадают, мы вычисляли только площади боковых поверхностей фигур и площади их не соприкасающихся оснований.
- В случае, когда основание одной фигуры соприкасается с большим основанием другой, или, одна фигура своим основанием соприкасается с той частью другой фигуры, площадь которой вычислить затруднительно или невозможно (например, с поверхностью эллипсоида), мы из общей площади поверхности двух фигур вычитали удвоенную площадь основания первой фигуры [8].

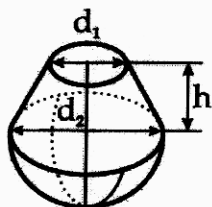
²От лат. названия хлорофитовых рода *Monoraphidium* [18].

³От лат. названия диатомовых рода *Cymbella* [18].

⁴От лат. названия диатомовых рода *Gomphonema* [18].

КОД ИЛЛЮСТРАЦИЯ

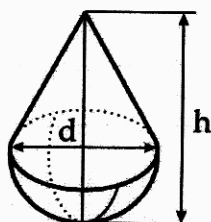
ФОРМУЛЫ

ус.к.к.
+ 0.5
ш.**Усеченный круглый конус и полшара**

$$p = \frac{1}{2} \sqrt{4h^2 + (d_2 - d_1)^2}$$

$$V = \frac{\pi}{12} \cdot [h \cdot (d_1^2 + d_1 d_2 + d_2^2) + d_2^3]$$

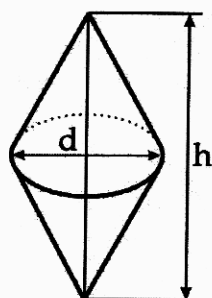
$$A = \frac{\pi}{2} \cdot \left[p \cdot (d_1 + d_2) + \frac{d_1^2}{2} + d_2^2 \right]$$

к.к. +
0.5 ш.**Круглый конус и полшара**

$$V = \frac{\pi}{12} d^2 \cdot \left(h + \frac{d}{2} \right)$$

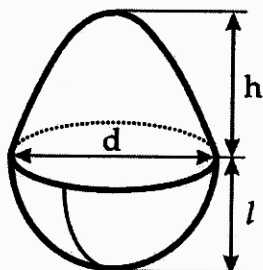
$$A = \frac{\pi}{2} \cdot d \cdot \left(d + \sqrt{\frac{2h^2 - 2hd + d^2}{2}} \right)$$

2 к.к.

**Два круглых конуса с одинаковым основанием**

$$V = \frac{\pi}{12} \cdot d^2 \cdot h$$

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot d \cdot \sqrt{d^2 + h^2}$$

0.5
сф. +
пб.**Половина сфероида и параболоид***h* – высота параболоида;*l* – высота сфероида.

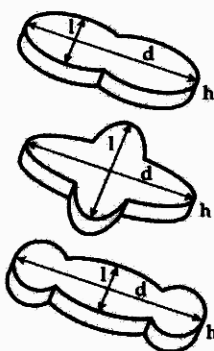
$$\rho_{\text{прбл}} = \frac{d^2}{8h}$$

$$A_{\text{прбл}} = \frac{2\pi}{3\rho_{\text{прбл}}} \cdot \sqrt{\left(\frac{d^2}{4} + \rho_{\text{прбл}}^2\right)^3} - \rho_{\text{прбл}}^3$$

$$A_{\text{сфр}} = \begin{cases} 2l > d, \text{ половина вытянутого сфероида;} \\ 2l < d, \text{ половина сплюснутого сфероида;} \\ 2l = d, \text{ половина шара.} \end{cases}$$

$$V = \pi \cdot d^2 \cdot \left(\frac{l}{6} + \frac{h}{8} \right)$$

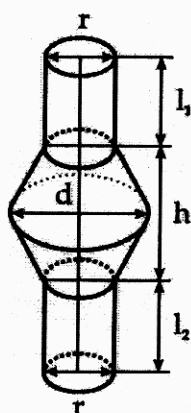
$$A = A_{\text{сфр}} + A_{\text{прбл}}$$

КОМ.
ЭЛ.Ц.

Комбинации эллиптических цилиндров
Считаются как один эллиптический цилиндр

$$V \approx \frac{\pi}{4} \cdot d \cdot l \cdot h$$

$$A \approx \frac{\pi}{2} \cdot (d \cdot l + l \cdot h + h \cdot d)$$

2
УС.К.К.
+ 2
К.Ц.

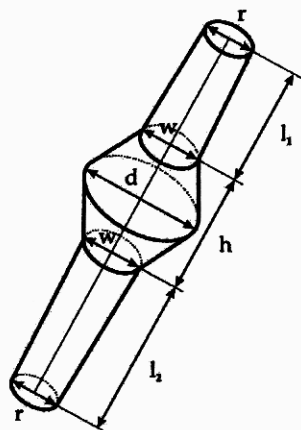
Два усеченных конуса и два цилиндра

Высоты конусов и диаметры их оснований совпадают. Высоты цилиндров различны.

$$p = \frac{1}{2} \sqrt{h^2 + (d - r)^2}$$

$$V = \frac{\pi}{12} \cdot h \cdot (d^2 + dr + r^2) + \frac{\pi}{4} \cdot r^2 \cdot (l_1 + l_2)$$

$$A = \pi \cdot \left(p \cdot (d + r) + r \cdot (l_1 + l_2) + \frac{r^2}{2} \right)$$

4
УС.К.К.

Четыре усеченных круглых конуса

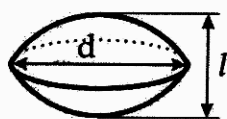
$$\rho = \frac{1}{2} \sqrt{h^2 + (d - w)^2}$$

$$\rho_1 = \frac{1}{2} \sqrt{4l_1^2 + (w - r)^2}$$

$$\rho_2 = \frac{1}{2} \sqrt{4l_2^2 + (w - r)^2}$$

$$A = \pi \cdot \rho \cdot (w + d) + \frac{\pi}{2} \cdot (\rho_1 + \rho_2)(w + r) + \frac{\pi}{2} \cdot r^2$$

$$V = \frac{\pi}{12} \cdot h \cdot (d^2 + dw + w^2) + \frac{\pi}{12} \cdot (l_1 + l_2)(r^2 + rw + w^2)$$

2
Ш.СЕР.

Два шаровых сегмента

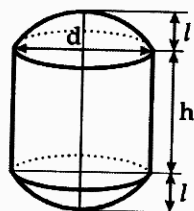
$$V = \frac{\pi}{24} \cdot h \cdot (h^2 + 3d^2)$$

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot (d^2 + h^2)$$

КОД ИЛЛЮСТРАЦИЯ

ФОРМУЛЫ

к.ц.
+ 2
ш.сег.

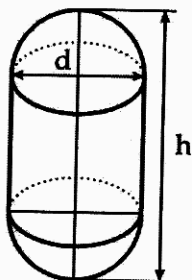


Круглый цилиндр и два шаровых сегмента

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h + \frac{\pi}{12} \cdot l (4l^2 + 3d^2)$$

$$A = \pi \cdot d \cdot h + \frac{\pi}{2} \cdot (d^2 + 4l^2)$$

к.ц.
+ 2
0.5ш.

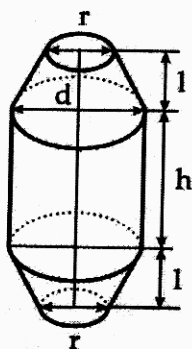


Круглый цилиндр и два полушара

$$V = \pi \cdot d^2 \cdot \left(\frac{h}{4} - \frac{d}{12} \right)$$

$$A = \pi \cdot d \cdot h$$

к.ц.
+ 2
ус.к.к.



Круглый цилиндр и два усеченных конуса

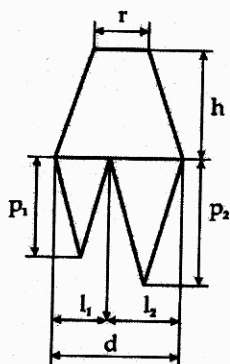
Высоты конусов и диаметры их оснований совпадают.

$$p = \frac{1}{2} \sqrt{4l^2 + (d - r)^2}$$

$$V = \pi \cdot \left[\frac{l}{6} \cdot (d^2 + dr + r^2) + \frac{h}{4} \cdot d^2 \right]$$

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot [2p \cdot (d + r) + 2dh + r^2]$$

ус.к.к.
+ 2
к.к.



Усеченный круглый конус и два круглых конуса

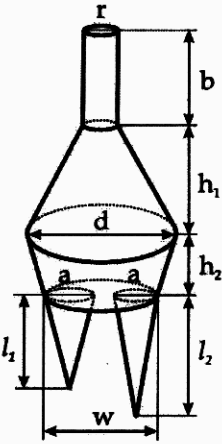
$$\eta = \frac{1}{2} \sqrt{4h^2 + (d - r)^2}$$

$$V = \frac{\pi}{12} [h \cdot (r^2 + rd + d^2) + p_1 \cdot l_1^2 + p_2 \cdot l_2^2]$$

$$A = \frac{\pi}{2} \cdot \left[\left(\frac{r^2 + d^2}{2} + \eta \cdot (r + d) + l_1 \eta_1 + l_2 \eta_2 \right) - \frac{l_1^2 + l_2^2}{2} \right]$$

$$l_1 = \sqrt{p_1^2 + \frac{l_1^2}{4}}$$

$$l_2 = \sqrt{p_2^2 + \frac{l_2^2}{4}}$$

КОД	ИЛЛЮСТРАЦИЯ	ФОРМУЛЫ
к.ц. + 2 ус.к.к. + 2 к.к.		Цилиндр, два усеченных конуса и два конуса Полагаем, что основания конусов-рогов равны. $\rho_1 = \frac{1}{2} \sqrt{4h_1^2 + (d-r)^2}$ $\rho_2 = \frac{1}{2} \sqrt{4h_2^2 + (d-w)^2}$ $\mu = \frac{1}{2} \sqrt{4l_1^2 + a^2} + \frac{1}{2} \sqrt{4l_2^2 + a^2}$ $V = \left[\frac{\pi}{4} \cdot r^2 \cdot b \right] + \left[\frac{\pi}{12} \cdot a^2 \cdot (l_1 + l_2) \right] +$ $\left[\frac{\pi}{12} \cdot h_1 \cdot (r^2 + r d + d^2) \right] + \left[\frac{\pi}{12} \cdot h_2 \cdot (w^2 + w d + d^2) \right]$ $A = \left[\pi \cdot r \cdot b + \frac{\pi}{4} \cdot r^2 \right] + \left[\frac{\pi}{2} \cdot a \cdot (\mu - a) \right] +$ $\left[\frac{\pi}{2} \cdot \rho_1 \cdot (r + d) \right] + \left[\frac{\pi}{2} \cdot \rho_2 \cdot (w + d) \right]$

Клетки *Ceratium tripos* и им подобные

Форма микроводорослей аппроксимируется комбинацией фигур, соответствующих форме тела клетки и форме трех ее выростов—рогов: апикального и двух боковых. Объем клетки равен сумме объемов ее тела и трех выростов. Площадь поверхности всей клетки будет сумме площадей ее тела и трех ее рогов, минус площадь соприкосновения рогов с телом, которая совпадает с удвоенной площадью оснований каждого рога:

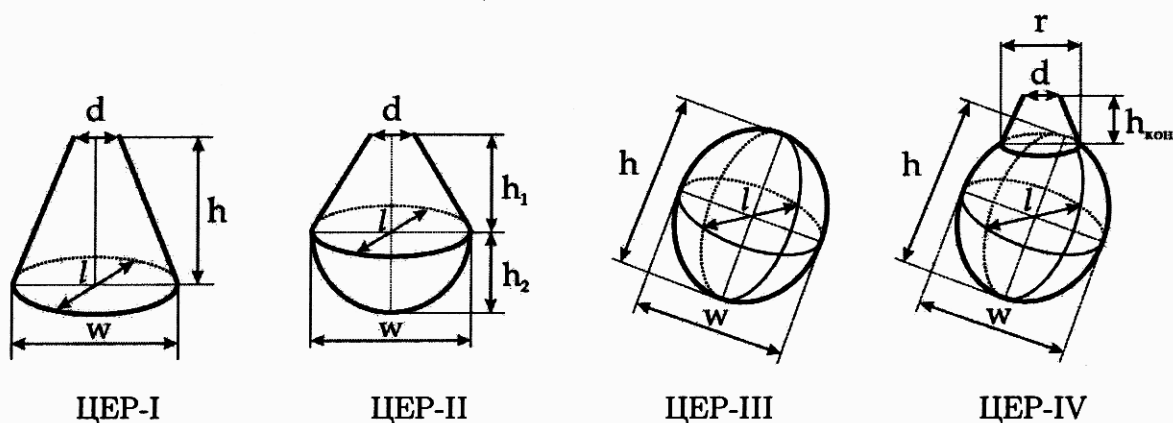
$$A_{\text{СОПРИКОС}} = 2A_{\text{ОСНОВ-ВЫРОСТ-1}} + 2A_{\text{ОСНОВ-ВЫРОСТ-2}} + 2A_{\text{ОСНОВ-ВЫРОСТ-3}} \quad (1)$$

$$V_{\text{КЛЕТКИ}} = V_{\text{ТЕЛА}} + V_{\text{ВЫРОСТ-1}} + V_{\text{ВЫРОСТ-2}} + V_{\text{ВЫРОСТ-3}}$$

$$A_{\text{КЛЕТКИ}} = A_{\text{ТЕЛА}} + A_{\text{ВЫРОСТ-1}} + A_{\text{ВЫРОСТ-2}} + A_{\text{ВЫРОСТ-3}} - A_{\text{СОПРИКОС}}$$

Форма тела клетки

Мы предлагаем четыре варианта фигур, которые можно использовать для имитации формы тела данных микроводорослей. Подходящую фигуру исследователь должен выбрать самостоятельно, в зависимости от того, что он наблюдает в микроскоп. Ширина фигуры w измеряется вдоль самой широкой части тела клетки – боковой борозды [3].



Объемы данных фигур вычисляются по приведенным выше формулам. Конус в фигурах ЦЕР-I и ЦЕР-II — эллиптический. Можно считать, что толщина конуса l в два раза меньше его ширины w :

$$l : w = 1 : 2$$

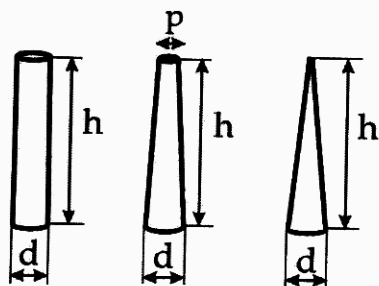
Площадь поверхности эллиптического конуса не выражается рациональной функцией, а вычисляется приближенными методами. В случае затруднений можно считать все конусы круглыми [18, 25]. Расчетные формулы для фигуры ЦЕР-IV следующие:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{кон}} &= \frac{1}{2} \sqrt{4h_{\text{кон}}^2 + (r - d)^2} & \rho_{\text{элпс}} &= \frac{\sqrt{4h^2 - (w+l)^2}}{2h} \\ A_{\text{кон}} &= \frac{\pi}{2} \cdot \rho_{\text{кон}} \cdot (r + d) + \frac{\pi}{4} \cdot (d^2 - r^2) & A_{\text{элпс}} &\approx \frac{\pi}{4} \cdot (w + l) \cdot \left[\frac{w+l}{2} + h \cdot \frac{\arcsin(\rho_{\text{элпс}})}{\rho_{\text{элпс}}} \right] \\ V_{\text{кон}} &= \frac{\pi}{12} \cdot h_{\text{кон}} \cdot (r^2 + r \cdot d + d^2) & V_{\text{элпс}} &= \frac{\pi}{6} \cdot w \cdot h \cdot l \end{aligned}$$

$$A_{\text{ЦЕР-IV}} \approx A_{\text{кон}} + A_{\text{элпс}}$$

$$V_{\text{ЦЕР-IV}} = V_{\text{кон}} + V_{\text{элпс}}$$

Форма выростов



В зависимости от выбора исследователя выросты на теле клетки могут имитироваться круговым цилиндром, конусом или усеченным конусом. Поверхность выроста равна боковой поверхности фигуры и свободного основания выроста. Так как выросты соприкасаются с телом клетки, то из найденного значения поверхности следует вычесть площадь основания фигуры, соприкасающегося с клеткой.

Пример имитации формы клеток

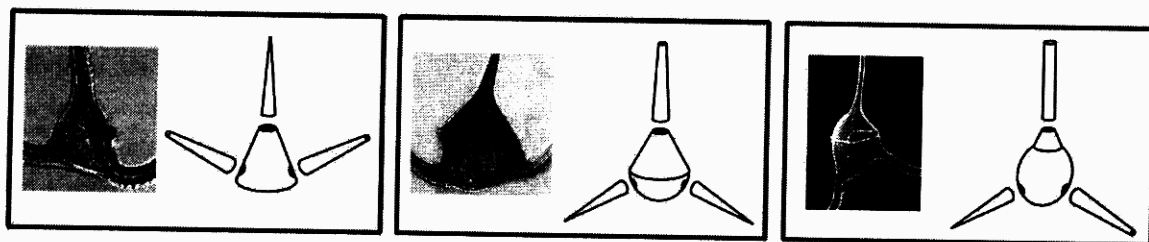


Рис. 1. Пример комбинаций геометрических фигур, используемых для имитации формы клеток рода *Ceratium*. Поверхность тела клеток, закрываемая выростами, помечена серым цветом. Слева: тело клетки аппроксимировано фигурой ЦЕР-I, апикальный рог — конусом, боковые рога — усеченными конусами. В центре: тело клетки аппроксимировано фигурой ЦЕР-II, апикальный рог — усеченным конусом, боковые рога — конусами. Справа: тело клетки аппроксимировано фигурой ЦЕР-IV, апикальный рог — цилиндром, левый рог — конусом, правый рог — усеченным конусом.

Список видов микроводорослей Черного моря

В таблице приведено 250 видов микроводорослей Черного моря. Комбинации фигур, основанные на эллиптических конусах и параболоидах (см. напр. *Alexandrium ostenfeldii*, *Ceratium furca* и т. п.), приводятся в таблице, но не рассматриваются в данном пособии, и формулы для них будут разработаны в дальнейшем. В колонке «Фигуры» косой чертой отделены альтернативные варианты фигур. Колонка «Коэф.» содержит значения *поправочных коэффициентов*. Для расчета коэффициентов использовались собственные и литературные данные [3,5,12,13,23,24]. Если клетка расположена *створкой* к наблюдателю, то невидимую сторону находим умножением коэффициента на меньшую видимую сторону. Когда клетка расположена *пояском* — невидимую сторону находим делением длины меньшей видимой стороны на коэффициент. У видов, помеченных звездочкой *, коэффициент следует умножать на видимую *ширину* клетки. Клетки таких видов, как правило, располагаются пояском к наблюдателю (род *Chaetoceros*).

Таблица 1: Виды микроводорослей Черного моря.

Название вида	Фигуры	Коэф.
BACILLARIOPHYCEAE		
<i>Achnanthes longipes</i> Agardh, 1832	ком.эл.ц	0.66
<i>Amphiprora paludosa</i> W. Smith, 1853-1856	ком.эл.ц	0.81
<i>Amphora coffeiformis</i> (Agardh) Kützing, 1844	эл.ц.	0.54
<i>Amphora crassa</i> Gregory, 1857	эл.ц.	0.5
<i>Amphora granulata</i> Greg. var. <i>granulata</i> Gregory, 1857	эл.ц.	0.5
<i>Amphora hyalina</i> Kützing, 1844	эл.ц.	0.5
<i>Amphora macilenta</i> Greg.	эл.ц.	0.5
<i>Amphora ovalis</i> Kütz. var. <i>ovalis</i> Kützing, 1834	эл.ц.	0.5
<i>Amphora proteus</i> Greg. var. <i>proteus</i> Gregory, 1857	эл.ц.	0.5
<i>Amphora terroris</i> Ehrenberg, 1853	эл.ц.	0.5
<i>Bacillaria paxillifera</i> (O.F.Müller) Hendey, 1964	эл.ц.	0.8
<i>Bacillaria socialis</i> (Greg.) Grun. var. <i>baltica</i> Grunow in De Toni, 1891-1894	эл.ц.	0.8
<i>Caloneis amphisbaena</i> (Bory) Cleve, 1894-1895	эл.ц.	0.5
<i>Caloneis formosa</i> (Greg.) Cl. var. <i>formosa</i> Cleve, 1894-1895	эл.ц.	0.5
<i>Caloneis liber</i> (W. Sm.) Cl. var. <i>liber</i> Cleve, 1894-1895	эл.ц.	0.7
<i>Campylodiscus thuretii</i> Breb. var. <i>Thuretii</i> Brebisson, 1854	к.ц	0.7
<i>Cocconeis distans</i> Gregory, 1857	эл. ц.	0.7
<i>Cocconeis scutellum</i> var. <i>parva</i> Grunow in var. <i>Heurck</i> 1880-1885	эл. ц.	0.7
<i>Cocconeis scutellum</i> var. <i>scutellum</i> Ehrenberg, 1838	эл. ц.	0.7
<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann & Lewin, 1964	2 ус.к.+2 ц.	1.0
<i>Gyrosigma fasciola</i> (Ehrenberg) Griffith & Henfrey, 1856	пр.р.+2 ц.	0.7
<i>Mastogloia pusilla</i> Grun. var. <i>pusilla</i> Grunow, 1878	эл. ц.	0.6
<i>Mastogloia erythraea</i> Grun. var. <i>erythraea</i> Grunow, 1860	эл. ц.	0.6
<i>Navicula cancellata</i> Donkin, 1871-1872	эл. ц.	2.13
<i>Navicula directa</i> (W.Sm.) Ralfs in Pritchard, 1842	эл. ц.	0.6
<i>Navicula forcipata</i> Grevar. var. <i>forcipata</i> Greville, 1859	эл. ц.	0.6
<i>Navicula Grevillei</i> Ag. Heib. var. <i>Grevillei</i> Heiberg, 1864	эл. ц.	0.6
<i>Navicula halophila</i> (Grun.) Cl.	эл. ц.	0.6
<i>Navicula hennedyi</i> W. Sm. 1853-1856	эл. ц.	0.6
<i>Navicula lira</i> Ehrenberg in Kützing, 1844	эл. ц.	0.6
<i>Navicula pennata</i> A.S. var. <i>pontica</i> Mereschkowsky, 1902	эл. ц.	0.75

Продолжение на сл.стр.

Таблица 1: Продолжение

Название вида	Фигура	Коэф.
<i>Navicula ramosissima</i> (Ag.) Cleve, 1894-1895	эл. ц.	0.778
<i>Nitzschia holsatica</i> Hustedt in A. Schidt, 1874-1958	эл. ц.	0.785
<i>Nitzschia longissima</i> (Breb.) Ralfs in Pritchard, 1842-1849	эл. ц.	0.84
<i>Nitzschia reversa</i> W. Smith, 1853-1856	2 ус.к. + 2 ц.	1.0
<i>Nitzschia tenuirostris</i> Mereschkowsky, 1902	2 к.к.	1.0
<i>Pleurosigma angulatum</i> (Qweck.) W. Sm. var. <i>angulatum</i> W. Smith 1853-1856	пл.р.	0.69
<i>Pleurosigma cuspidatum</i> Cl. var. <i>rostratum</i> Pr.-Lavr. var. <i>novar.</i> 1963	пл.р.	0.69
<i>Pleurosigma elongatum</i> W. Smith, 1852	пл.р.	0.69
<i>Pleurosigma rigidum</i> W. Smith, 1853-1856	пл.р.	0.73
<i>Pseudo-nitzschia fraudulenta</i> (Cleve) Hasle, 1993	эл.ц.	0.8
<i>Pseudo-nitzschia pseudodelicatissima</i> (Hasle) Hasle, 1993	эл.ц.	0.75
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (Grunow ex Cleve) Hasle, 1993	эл.ц.	0.65
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> (Cleve) H. Peragallo, 1897-1908	эл.ц.	0.65
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden in Heiden & Kolbe, 1928	эл.ц.	0.8
<i>Rhoicosphenia curvata</i> (Kutz.) Grunow, 1867	эл.ц.	0.500
COSCINODISCOPHYCEAE		
<i>Actinocyclus octonarius</i> Ehrenberg, 1838	к.ц.	0.56 *
<i>Cerataulina pelagica</i> (Cleve) Hendey, 1937	к.ц./ц. + 2 ш.сер.	1.000
<i>Chaetoceros affinis</i> Lauder, 1864 b	эл.ц.	0.57 *
<i>Chaetoceros compressus</i> Lauder, 1864 b	к.ц.	1.0
<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve, 1889	эл.ц.	0.61 *
<i>Chaetoceros danicus</i> Cleve, 1889	эл.ц.	0.8 *
<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve, 1873 b	эл.ц.	0.524 *
<i>Chaetoceros diadema</i> (Ehrenberg) Gran, 1897 b	эл.ц.	0.524 *
<i>Chaetoceros diversus</i> Cleve, 1873 b	эл.ц.	0.524 *
<i>Chaetoceros dubius</i> Pr.-Lavr.	эл.ц.	0.610 *
<i>Chaetoceros insignis</i> Pr.-Lavr.	эл.ц.	0.710 *
<i>Chaetoceros lorenzianus</i> Grunow, 1863	эл.ц.	0.47 *
<i>Chaetoceros muelleri</i> Lemmermann, 1898	эл.ц.	0.7 *
<i>Chaetoceros peruvianus</i> Brightw. 1856	эл.ц. + 2 к.к. + 2 к.к.	0.8 *
<i>Chaetoceros rigidus</i> Ostensfeld, 1901	эл.ц.	0.44 *
<i>Chaetoceros similis</i> Cleve, 1896 b	эл.ц.	0.57 *
<i>Chaetoceros simplex</i> Ostensfeld, 1901 b	эл.ц.	0.48 *
<i>Chaetoceros socialis</i> Lauder, 1864 b	эл.ц.	0.75 *
<i>Chaetoceros tortissimus</i> Gran, 1900	эл.ц.	0.610 *
<i>Coscinodiscus granii</i> Gough, 1905	к.ц. + 2 ш.сер.	0.54 *
<i>Coscinodiscus Janischii</i> A.Schmidt, 1874-1958	к.ц. / к.ц. + 2 ш.сер.	0.66 *
<i>Coscinodiscus Jonesianus</i> (Grev.) Ostensfeld, 1915	к.ц. + 2 ш.сер.	0.76 *
<i>Coscinodiscus perforatus</i> Ehrenberg, 1944	к.ц. / к.ц. + 2 ш.сер.	0.60 *

Продолжение на сл.стр.

Таблица 1: Продолжение

Название вида	Фигура	Коэф.
<i>Coscinodiscus radiatus</i> Ehrenberg, 1839	к.ц. / к.ц. + 2 ш.сер.	0.71 *
<i>Cyclotella caspia</i> Grunow in Schneider, 1878	к.ц.	0.692
<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kutz., 1844	к.ц.	0.692
<i>Dactyliosolen fragilissimus</i> (Bergon) Hasle, 1996	к.ц. / ц. + 2 ш.сер.	1.000
<i>Detonula confervacea</i> (Cleve) Gran, 1900	к.ц.	1.000
<i>Ditylum brightwellii</i> (West) Grunow (vide Van Heurck, 1880-1885)	к.ц. / ц. + 2 ш.сер.	1.000
<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle, 1996	к.ц.	1.000
<i>Hyalodiscus scoticus</i> (Kutz.) Grunow, 1879	к.ц.	1.000
<i>Leptocyndrus danicus</i> Cleve, 1889	к.ц.	1.000
<i>Leptocyndrus minimus</i> Grun, 1915	к.ц.	1.000
<i>Melosira moniliformis</i> (O. Mull.) Agardh, 1824	к.ц. / ц. + 2 ш.сер.	1.000
<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve, 1873 b	к.ц.	1.000
<i>Proboscia alata</i> (Brightwell) Sunstrom, 1986	к.ц + 2 ус.к.к.	1.000
<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> (Schultze) Sundstrom, 1986	к.ц. + 2 ус.к.к.	1.000
<i>Skeletonema costatum</i> (Grev.) Cleve, 1878	к.ц.+2 ш.сер./2 ш.сер/ спл.сф.	1.000
<i>Skeletonema subsalsum</i> (A. Cl.) Bethge, 1928	к.ц.+2 ш.сер./2 ш.сер/ спл.сф.	1.000
<i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow, 1880	к.ц.	1.000
<i>Thalassiosira antiqua</i> (Grun.) A. Cl. var. septata Pr.-Lavr. 1955	к.ц.	0.69
<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve, 1904	к.ц.	0.455
<i>Thalassiosira nordenskioldii</i> Cleve, 1873 b	к.ц.	0.5
<i>Thalassiosira parva</i> Pr.-Lavr., 1955	к.ц.	0.8
<i>Thalassiosira subsalina</i> Pr.-Lavr., 1955	к.ц.	0.538
FRAGILARIOPHYCEAE		
<i>Diatoma elongatum</i> (Lingb.) Agardh, 1824	эл.ц.	0.785
<i>Grammatophora marina</i> (Lyngb.) Kutz.	эл.ц.	0.610
<i>Licmophora abbreviata</i> Ag. var. abbreviata Agardh, 1831	Gom.	0.8
<i>Licmophora Ehrenbergii</i> (Kutz.) Grunow, 1867	Gom.	0.83
<i>Licmophora flabellata</i> Agardh, 1831	Gom.	0.8
<i>Licmophora gracilis</i> (Ehr.) Grun. var. gracilis Grunow, 1867	Gom.	0.88
<i>Licmophora paradoxa</i> (Lyngb.) Ag. var. tinctoria (Ag.) Hustedt, 1927-1937	Gom.	0.8
<i>Opephora marina</i> (Greg.) Petit, 1881	эл.ц.	0.6
<i>Striatella delicatula</i> (Kutz.) Grunow in VAR. Heurck, 1880-1885	эл.ц.	0.75
<i>Striatella interrupta</i> (Ehr.) Heiberg, 1863	эл.ц.	0.63
<i>Striatella unipunctata</i> (Lyngb.) C.A. Agardh, 1832	эл.ц.	0.500
<i>Synedra tabulata</i> (Ag.) Kutz. var. tabulata, Kutz., 1844	эл.ц.	0.785
<i>Synedra cristallina</i> (Ag.) Kutz., 1844	эл.ц.	0.785
<i>Thalassionema nitzschioides</i> Grunow ex Mereschkovsky, 1902	эл.ц.	0.785
DINOPHYCEAE		
<i>Alexandrium ostenfeldii</i> (Paulsen) Balech et Tangen, 1985	0.5 эл. + эл.пб.	1.000
Продолжение на сл.стр.		

Таблица 1: Продолжение

Название вида	Фигура	Коэф.
<i>Amphidinium crassum</i> Lohmann, 1908	0.5 выт.сф. + пб.	1.000
<i>Amphidinium extensum</i> Wulff, 1916	выт.сф. / 2 пб.	1.000
<i>Amphidinium longum</i> Lohmann, 1908	выт.сф. + пб.	1.000
<i>Amphidinium operculatum</i> Claparede et Lachmann, 1859	эл.	0.470
<i>Amphidinium ovum</i> C.E. Herdman, 1924	выт.сф.	1.000
<i>Ceratium furca</i> (Ehr.) Claparede et Lachmann, 1859	эл.+2 ус.эл.к.+2 к.к	0.667
<i>Ceratium fusus</i> (Ehr.) Dujardin, 1841	эл.ц. + 2 ус.эл.к. + 2 эл. к.	0.333
<i>Ceratium tripos</i> (O.F. Muller) Nitzsch, 1817	эл.ц. + эл.ус.к. + эл. + 2 эл.к.	0.500
<i>Cochlodinium archimedes</i> (Pouchet) Lemmermann, 1899	эл.	0.8
<i>Cochlodinium brandtii</i> Wulff, 1916	эл.	0.8
<i>Cochlodinium geminatum</i> (Schutt) Schutt, 1896	эл.	0.650
<i>Dinophysis acuminata</i> Claparede & Lachmann, 1859	эл.	0.61
<i>Dinophysis acuta</i> Ehrenberg, 1839	эл.	0.60
<i>Dinophysis baltica</i> (Paul.) Kof. & Skogsberg, 1928	эл.	0.60
<i>Dinophysis caudata</i> Saville-Kent, 1881	эл. + ус.эл.к.	0.5
<i>Dinophysis fortii</i> Pavillard, 1923	эл.	0.48
<i>Dinophysis norvegica</i> Claparede et Lachmann, 1859	эл.	0.51
<i>Dinophysis ovum</i> Schutt, 1895	эл.	0.7
<i>Dinophysis recurva</i> Kofoid & Skogsberg, 1928	эл.	0.771
<i>Dinophysis rotundata</i> Claparede et Lachmann, 1859	эл.	0.900
<i>Dinophysis sacculus</i> Stein, 1883	эл.	0.5
<i>Dinophysis sphaerica</i> Stein, 1883	эл.	0.9
<i>Dinophysis tripos</i> Gourret, 1883	эл. + 2 эл.ус.к.	0.301
<i>Diplopsalis lenticula</i> Berg, 1881	сп.сф.	1.000
<i>Diplopsalis pilula</i> Ostffeld, 1908'	0.5 ш. + пб.	1.000
<i>Diplopsalopsis orbicularis</i> (Paulsen) Meunier, 1910	эл.	0.9
<i>Glenodinium apiculatum</i> Ehrenberg, 1838	0.5 ш. + пб. / 0.5 ш. + к.к	1.000
<i>Glenodinium danicum</i> Paulsen, 1907	0.5 ш. + пб.	1.000
<i>Glenodinium palustre</i> (Lemm.) Schiller, 1937	выт.сф.	1.000
<i>Glenodinium paululum</i> Lindemann, 1928	0.5 ш. + пб.	1.000
<i>Gonyaulax cochlea</i> Meunier, 1919	0.5 в.сф + ус.к.к.	1.000
<i>Gonyaulax digitale</i> (Pouch.) Kofoid, 1911 a	0.5 в.сф + ус.к.к.	1.000
<i>Gonyaulax grindleyi</i> Reinecke, 1967	эл.	0.92
<i>Gonyaulax minima</i> Matzenauer, 1933	0.5 в.сф + ус.к.к.	1.000
<i>Gonyaulax minuta</i> Kofoid & Mich, 1911	0.5 в.сф + ус.к.к.	1.000
<i>Gonyaulax polygramma</i> Stein, 1883	0.5 выт.сф. + ус.к.к.	1.000
<i>Gonyaulax scripsae</i> Kofoid, 1911	0.5 в.сф. + пб.	1.000
<i>Gonyaulax spinifera</i> (Claparede & Lachmann) Diesing, 1866	0.5 в.сф + ус.к.к.	1.000

Продолжение на сл.стр.

Таблица 1: Продолжение

Название вида	Фигура	Коэф.
<i>Gymnodinium agileforme</i> Schiller, 1928	0.5 в.сф + ус.к.к.	1.000
<i>Gymnodinium albulum</i> Lindemann, 1928	эл.	0.700
<i>Gymnodinium flavum</i> Koffoid & Swezy, 1921	эл.	0.750
<i>Gymnodinium fusus</i> Schutt, 1895	2 эл.к.	0.680
<i>Gymnodinium kovalevski</i> Pitz.	0.5 в.сф + пб.	1.000
<i>Gymnodinium lacustre</i> Schill.	выт.сф.	1.000
<i>Gymnodinium najadeum</i> Schiller, 1928	0.5 сп.сф. + пб.	1.000
<i>Gymnodinium neglectum</i> (Schill.) Lindemann, 1929	эл.	1.000
<i>Gymnodinium pseudopalustre</i> (Woloszinska) Schiller, 1917	эл.	1.000
<i>Gymnodinium rhomboides</i> Schutt, 1895	к.к + пб.	1.000
<i>Gymnodinium rotundatum</i> Klebs, 1912	эл.	1.000
<i>Gymnodinium sanguineum</i> Hirasaka, 1922	3 эл.пб.	0.470
<i>Gymnodinium simplex</i> (Lohmann) Kofoid & Swezy, 1921	0.5 ш + пб.	1.000
<i>Gymnodinium variabile</i> C.E. Herdmann, 1924	эл. / 0.5 эл + пб	0.700
<i>Gymnodinium varians</i> Maskell, 1887	0.5 эл. + эл.пб	0.800
<i>Gymnodinium wulfii</i> Schiller, 1933	2 эл.пб.	0.770
<i>Gyrodinium fusiforme</i> Kofoid & Swezy, 1921	2 к.к.	1.000
<i>Gyrodinium cornutum</i> (Pouch.) Kof. Et Sw.	2 пб	1.000
<i>Gyrodinium lachryma</i> (Meunier) Kofoid & Swezy, 1910	0.5 выт.сф + к.к	1.000
<i>Gyrodinium pingue</i> (Schutt) Kofoid & Swezy, 1921	пб. + 0.5 эл.	1.000
<i>Heterocapsa triquetra</i> (Ehrenberg) Stein, 1883	пб. + ус.к.к.	1.000
<i>Mesoporus perforatus</i> (Gran) Lillick, 1937	эл.	0.210
<i>Noctiluca scintillans</i> (Macartney) Kofoid et Swezy, 1921	ш.	1.000
<i>Oxytoxum adriaticum</i> Schill.	0.5 в.сф + к.ц. + ш.сег.	1.000
<i>Peridinium breve</i> Paulsen, 1907	0.5 ш. + ус.к.	1.000
<i>Peridinium brochii</i> Kof. Et Swezy, 1921	ус.к. + 2 к.к.	1.000
<i>Peridinium bulla</i> Meunier, 1910	ш.	1.000
<i>Peridinium cinctum</i> (O.F. Muller) Ehrenberg, 1832	2 0.5 эл.	0.625
<i>Peridinium curvipes</i> Ostensfeld, 1906	сп.сф. + ус.к.к.	1.000
<i>Peridinium diabolus</i> Cleve, 1900	ус.к.к. + ус.к. + 0.5 сп.сф.	1.000
<i>Peridinium granii</i> Ostensfeld, 1906	ус.к. + 0.5 эл. + 2 пб.	0.750
<i>Peridinium minusculum</i> Pavillard, 1905	к.к. + ус.л.к. + 2 эл.ус.к.	0.500
<i>Peridinium pedunculatum</i> Schutt, 1895	2 ус.к.к. + 2 к.ц.	1.000
<i>Peridinium solidicorne</i> Mangin, 1926	ус.к.к. + 2 к.к.	1.000
<i>Peridinium steinii</i> Jorgensen, 1899	0.5 ш. + ус.к.к + к.ц.	1.000
<i>Phalacroma irregulare</i> Lebour, 1925	эл.	0.8
<i>Phalacroma ovatum</i> (Clap. Et Lach.) Jorgensen, 1923	эл.	0.9
<i>Phalacroma pulchellum</i> Lebour, 1922	эл.	0.9

Продолжение на сл.стр.

Таблица 1: Продолжение

Название вида	Фигура	Коэф.
<i>Phalacroma rotundatum</i> (Clap. & Lachm.) Kof. & Michener, 1911	эл.	0.9
<i>Phalacroma sphaeroideum</i> Schiller, 1928	эл.	0.9
<i>Pheopolykrikos hartmanni</i> (Zimmerman) Matsuoka & Fukuyo, 1986	эл.	0.700
<i>Polykrikos schwarzi</i> Butschli, 1873	эл.	0.700
<i>Prorocentrum aporum</i>	эл.	0.9
<i>Prorocentrum balticum</i> (Lohmann) Loeblich III, 1970	эл.	0.87
<i>Prorocentrum compressum</i> (Bailey) Abe ex Dodge, 1975	эл.	0.96
<i>Prorocentrum lima</i> (Ehrenberg) Dodge, 1975	эл.	0.5
<i>Prorocentrum micans</i> Ehrenberg, 1833	эл.	0.41
<i>Prorocentrum scutellum</i> Schroder, 1900	эл.	0.633
<i>Prorocentrum cordatum</i> (Ostenfeld) Dodge, 1975	эл.	0.71
<i>Protoperidinium claudicans</i> (Paulsen) Balech, 1974	ус.к.к. + 2 к.к.	1.000
<i>Protoperidinium crassipes</i> (Kofoid) Balech, 1974	ус.эл.к. + 2 эл.к.	0.76
<i>Protoperidinium depressum</i> (Bailey) Balech, 1974	эл. + ус.л.к. + 2 к.к.	0.7
<i>Protoperidinium divergens</i> (Ehrenberg) Balech, 1974	ус.эл.к. + ус.л.к. + 0.5 эл.	0.78
<i>Protoperidinium pellucidum</i> Bergh, 1881	0.5 ш. + ус.к.к.	1.000
<i>Protoperidinium brevipes</i> (Paulsen) Balech, 1974	ус.к.к. + 2 пб.	1.000
<i>Scrippsiella trochoidea</i> (Stein) Loeblich III, 1976	ус.к.к. + 0.5 ш.	1.000
CHRYSTOPHYCEAE		
<i>Apedinella spinifera</i> (Throndsen) Throndsen, 1971	0.5 выт.сф.	0.730
<i>Dictyocha speculum</i> Ehrenberg, 1839	0.5 ш.	1.000
<i>Dinobryon balticum</i> (Schutt) Lemmermann, 1900	выт.сф.	1.000
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehrenberg	выт.сф.	1.000
<i>Ebria tripartita</i> (Schumann) Lemmermann, 1899	0.5 ш.	1.000
<i>Ochromonas minima</i> Throndsen, 1969	выт.сф.	1.000
<i>Ochromonas oblonga</i> N. Carter, 1937	выт.сф.	1.000
<i>Pavlova salina</i> (N. Carter) Green	эл.	0.7
<i>Pseudopedinella tricostata</i> (Rouchijajnen) Thomsen, 1988	0.5 ш.	1.000
CRYPTOPHYCEAE		
<i>Hillea fusiformis</i> (Shiller) Schiller, 1925	0.5 выт.сф. + к.к.	1.000
<i>Rhodomonas</i> sp.	эл.	0.800
PRYMNESIOPHYCEAE		
<i>Acanthoica acanthos</i> Schiller	ш./эл.	1.000
<i>Acanthoica quattropsina</i> Lohmann, 1903	эл.	1.000
<i>Chrysochromulina pontica</i> Rouch, 1966	0.5 ш.	1.000
<i>Coccolithus pelagicus</i> (Wallich) Schiller, 1930	ш.	1.000
<i>Emiliana huxleyi</i> (Lohmann) Hay & Mohler, 1967	ш.	1.000
<i>Oolithotus fragilis</i> (Lohman) Reinhardt, 1972	ш.	1.000
<i>Phaeocystis pouchetii</i> (Hariot) Lagerheim, 1893	ш.	1.000
<i>Pontosphaera mediterranea</i>	ш.	1.000
Продолжение на сл.стр.		

Таблица 1: Продолжение

Название вида	Фигура	Коэф.
<i>Pontosphaera nigra</i> Schiller	ш.	1.000
<i>Pontosphaera stagnicola</i> Rossilo	ш.	1.000
<i>Prymnesium parvum</i> N. Carter, 1937	эл.	0.700
<i>Rhabdosphaera longistylis</i> Schiller, 1925	ш.	1.000
<i>Syracolithus dalmaticus</i> (Kamptner) Loeblich & Tappan, 1963	ш.	1.000
<i>Syracosphaera ovata</i>	эл.	0.7
<i>Syracosphaera pulchra</i> Lohmann, 1902	ш.	1.000
<i>Syracosphaera subsalsa</i>	эл.	0.7
CHLOROPHYCEAE		
<i>Ankistrodesmus arcuatus</i> Korschikov, 1953	2 к.к.	1.000
<i>Ankistrodesmus convolutus</i> Corda, 1839	2 к.к.	1.000
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs 1848	2 к.к.	1.000
<i>Coelastrum microporum</i> Nag. In A. Braun, 1855	ш.	1.000
<i>Crucigenia tetrapedia</i> (Kirchn.) West et G.S. West, 1902	к.к.	1.100
<i>Dunaliella salina</i> (Dunal) Teodoresco, 1905	0.5 выт.сф. + пб.	1.000
<i>Scenedesmus acuminatus</i> (Lagerh.) Chodat, 1902	2 к.к.	1.000
<i>Scenedesmus obliquus</i> (Turp.) Kutz.	2 к.к.	1.000
<i>Desmodesmus quadricauda</i> (Hegew.) Hegew. 2000	эл.	0.6
EUGLENOPHYCEAE		
<i>Eutreptiella braarudii</i> Throndsen, 1969	0.5 выт.сф. + пб.	1.000
<i>Eutreptiella gymnastica</i> Throndsen, 1969	0.5 выт.сф. + пб.	1.000
<i>Eutreptiella lanowii</i> Steur, 1904	0.5 выт.сф. + пб.	1.000
PRASINOPHYCEAE		
<i>Halosphaera viridis</i> Schmitz, 1878	ш.	1.000
<i>Pterosperma cristatum</i> Schiller, 1925	ш.	1.000
<i>Pterosperma marginatum</i> Gaarder, 1954	ш.	1.000
XANTHOPHYCEAE		
<i>Olisthodiscus luteus</i> N. Carter, 1937	эл.	0.500
<i>Olisthodiscus magnus</i> Hulburt	эл.	0.500
<i>Meringosphaera mediterranea</i> Lohm., 1902	ш.	1.00
CYANOBACTERIA		
<i>Anabaena bergii</i> var. minor I. Kisselev, 1927	ш.	1.000
<i>Anabaena flos-aquae</i> (Lyngb.) Brebisson, 1835	ш.	1.000
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (Lyngb.) Ralfs	ш.	1.000
<i>Gloeocapsa minor</i> (Kutz.) Hollerb., 1938	ш.	1.000
<i>Gloeocapsa minuta</i> (Kutz.) Hollerb., 1938	ш.	1.000
<i>Gomphosphaeria lacustris</i> Chodat, 1898	эл.	0.6
<i>Merismopedia minima</i> G. Beck, 1897	ш.	1.000
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kutz.) Kutzing. Emend Elenk.	ш.	1.000
<i>Oscillatoria geminata</i> Meneghini, 1837	к.ц.	1.000

Заключение

По морфологическому строению микроводоросли можно разделить на клетки *простой* и *сложной* формы. Форма первых очень хорошо соответствует предложенным геометрическим телам; форма вторых значительно от них отличается⁵. Чем больше различие между фигурой и клеткой, тем больше погрешность определения биомассы и площади поверхности микроводоросли. Для уменьшения погрешности используется большее количество фигур [10, 18, 25], что, в свою очередь, приводит к усложнению расчетных формул.

Другой способ вычисления биомассы геометрическим путем, основанный на построении трехмерных компьютерных моделей клеток фитопланктона, был предложен в работах [20, 21]. На первом этапе создается трехмерная компьютерная модель микроводоросли определенного вида. Затем модель, при помощи пространственных деформаций, изменяется так, чтобы пропорции между размерами ее частей совпадали с пропорциями частей исследуемой клетки [7, 21]; после чего вычисляется объем и площадь поверхности модели. Данный способ позволяет получить наиболее точные значения объема и поверхности

Благодарности

Авторы благодарят Геворгиза Р. Г. и Агаркову-Лях И. В. за техническую помощь при подготовке пособия.

⁵ Сюда можно отнести представителей родов *Ceratium*, *Amphora*, *Amphiprora*, *Sirurella* и т. п.

Литература

1. Брянцева Ю. В. К методике расчета объема клеток фитопланктона // Труды ЮгНИРО. — Керчь, 1996. — №42. — С. 195—199.
2. Брянцева Ю. В., Курилов А. В. Расчет объемов клеток микроводорослей и планктонных инфузорий Черного моря. — Севастополь, 2003. — 20 с. (Препр. / АН Украины. ИнБЮМ).
3. Киселев И. А. Панцерные жгутиконосцы (*DINOFLAGELLATA*) морей и пресных вод СССР. — М.—Л.: АН СССР, 1950. — 280 с.
4. Киселев И. А. Методы исследования планктона // Жизнь пресных вод СССР. — М.—Л., 1956. — Т. 4, №1. — 234 с.
5. Коновалова Г. В. Динофлагелляты дальневосточных морей России и сопредельных акваторий Тихого океана. — Владивосток: Дальнаука, 1998. — 298 с.
6. Лях А. М., Суворов А. М., Брянцева Ю. В. Обзор методов количественного учета фитопланктона // Системы контроля окружающей среды. — Севастополь: МГИ, 2002. — С. 425—430.
7. Лях А. М. Деформации пространства и их применение в моделировании формы клеток фитопланктона. Сдана в печать.
8. Лях А. М. Описание геометрии клеток фитопланктона и алгоритмов расчета их объема и площади поверхности на языке XML. Сдана в печать.
9. Макарова И. В., Пичкилы Л. О. К некоторым вопросам методики вычисления биомассы фитопланктона // Ботанический журнал. — 1970. — Т. 55, №10. — С. 1488—1494.
10. Миничева Г. Г., Зотов А. Б., Косенко М. Н. Методические рекомендации по определению комплекса морфофункциональных показателей одноклеточных и многоклеточных форм водной растительности. — Одесса, 2003. — 37 с. (Препр. / АН Украины. ОФ ИнБЮМ).
11. Нестерова Д. А. Методические рекомендации по сбору и обработке морского фитопланктона. — Одесса: ОФ ИнБЮМ, 1988. — 19 с.
12. Прощина-Лавренко А. И. Диатомовые водоросли планктона Черного моря. М.—Л.: Издат. АН СССР, 1955. — 223 с.
13. Рябушко Л. И. Атлас токсичных микроводорослей Черного и Азовского морей. — НИЦ Вооруженных Сил Украины "Государственный океанариум". — Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. — 140 с.
14. Сеничкина Л. Г. Вычисление объемов клеток видов рода *Euximaella* Cienk // Гидробиологический журнал — 1986. — Т. 22, №3. — С. 92—94.
15. Сеничкина Л. Г. Вычисление объемов клеток диатомовых водорослей с использованием коэффициентов объемной полноты // Гидробиологический журнал. — 1986. — Т. 22, №3. — С. 92—94.
16. Степанов В. Н., Светличный Л. С. Методы определения объема планктонных организмов // Биология моря. — 1975. — Вып. 39. — С. 46—51.
17. Суханова И. Н., Цейтлин В. Б. Оценка объемов клеток рода *Ceratium* // Океанология. — 1993. — Т. 33, №4. — С. 623—626.
18. Hillebrand H., Durselen C. D., Kirschtel D., Pollinger D., Zohary T. Biovolume calculation for pelagic and benthic microalgae // Journal of Phycology. — 1999. — V. 35. — P. 403—424.
19. Hostetter H. P., Kenneth D. R. Polymorphism of the diatom *Pinnularia brebissonii* in culture and field collection // J. of Phycology. — 1976. — V. 12, №2. — P. 79—83.
20. Lyakh A. M., Mukhanov V. S., Kemp R. B. The Virtual Cell Project for the investigation of microalgal morphology and dispersity of natural phytoplankton // Proc. of 17th European Workshop on Computational Geometry. — Berlin (Germany), — 2001. — P. 57—58.
21. Lyakh A. M. The free form deformation of phytoplankton models // Lecture notes in computer science. — 2002. — V. 2331. — P. 194—201.
22. Phytoplankton species composition, abundance and biomass // Manual for marine monitoring in the COMBINE programme of HELCOM. Helsinki Commission, 2000. — 21 p.
23. Schiller J. Dinoflagellates (Peridineae) in monographischer Behandlung. 1. Teil, Lieferung. 3. // Dr. L. Rabenhorst's. Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz. — Leipzig: Akademische Verlagsgesel. Ischaft, 1933. — 617 p.
24. Schiller J. Dinoflagellates (Peridineae) in monographischer Behandlung. 2. Teil, Lieferung. 3. // Dr. L. Rabenhorst's Kryptogamen-Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz. — Leipzig: Akademische Verlagsgesel. Ischaft, 1933. — 589 p.
25. Sun J, Dongyan L. Geometric models for calculating cell biovolume and surface area for phytoplankton // Journal of Plankton Research. — 2003. — V. 25, №11. — P. 1331—1346.
26. Young J. R., Ziveri P. Calculation of coccolith volume and its use in calibration of carbonate flux estimates // Deep-Sea Research. — 2000. — V. 47, №9. — P. 1679—1700.

Yu. V. Bryantseva, A. M. Lyakh, O. V. Sergeeva. Calculation of biovolumes and surface areas of Black Sea microalgae. — Sevastopol, 2005. — 25 p. (Preprint. / NAS Ukraine. Institute of Biology of the Southern Seas).

Pictures of 37 geometric shapes, which are used for calculation biovolume and surface area of microalgae, are presented in the manual. Similar geometric shapes and cell depth to cell width ratios are firstly presented for 250 species of Black Sea microalgae.

- © Институт Биологии Южных морей НАН Украины, 2005
- © Ю. В. Брянцева, А. М. Лях, А. В. Сергеева, 2005
- © Список видов и подобных фигур Ю. В. Брянцева, 2005
- © Иллюстрации и оформление А. М. Лях, 2005